

IAP20 Res'd PCT/PTO 17 APR 2006

明 細 書

コヒーレント光源および光学装置

技術分野

[0001] 本発明は波長変換素子を用いたコヒーレント光源、および光学装置に関する。

背景技術

[0002] 半導体レーザを用いた波長変換素子は小型高出力化が可能であり、高調波への波長変換を利用することで短波長化が可能となる。一方、波長変換素子が高い効率で波長変換するための波長許容度は一般的に非常に狭いため、出力を安定させるには半導体レーザの発振波長の安定化が必要となる。

この問題を解決する方法として、半導体レーザに光フィードバックをかける方法が提案されている。半導体レーザの導波モードは、外部からの光フィードバックで制御可能である。例えば、狭帯域の波長選択フィルターやファイバグレーティングで半導体レーザの出射光を波長選択した後、半導体レーザの共振器内にフィードバックすることで、半導体レーザの発振波長を固定できることが示されている(例えば、特許文献1参照)。また、外部グレーティングにより外部から光を返すことで、半導体レーザの発振波長を制御する方法が提案されている(例えば、特許文献2参照)。

図8は、従来のコヒーレント光源の例を示したものである。バンドパスフィルター504を用いて、半導体レーザ501に光フィードバックをかけ、バンドパスフィルター504の透過波長に半導体レーザの発振波長を固定している。ダイクロイックミラー505は高調波を全反射、かつ基本波を透過する特性を有し、バンドパスフィルター504は基本波の選択された波長のみを透過する構成となっている。半導体レーザ501から出た基本波は集光光学系502で集光され、波長変換素子503に入射する。波長変換素子503により基本波の一部は高調波に変換され、コリメートレンズを通った高調波はダイクロイックミラー505により波長分離され、高調波として外部に取り出される。一方、波長変換素子から出射した基本波は、コリメートレンズ510を通った後、ダイクロイックミラー505を通過し、バンドパスフィルター504により特定波長に選択される。その後、基本波は、ミラー513により反射され、同じ経路を逆行して半導体レーザ501の

活性層内にフィードバックする。半導体レーザ501の活性層内では、フィードバック波長のパワーが増大するため、共振器内におけるフィードバック波長の光のロスが見かけ上低減するため、発振波長がフィードバック波長に固定される。バンドパスフィルター504の角度を調整することで、透過波長を制御することができるため、半導体レーザの発振波長を波長変換素子503の位相整合波長に調整して、高効率の波長変換が可能となる。

特許文献1: 特開平10-186427号公報

特許文献2: 特開平06-102552号公報

発明の開示

[0003] しかしながら、上記従来の方法では、光学部品点数が多く、また光学系が複雑なため、光学系の小型化、安定化が難しいという問題があった。さらに、基本波入射光の光軸に対して、高調波の発生光軸が角度を持つため、光軸調整が難しいという課題があった。

また、フィードバックをかける方法としては、波長変換素子の入射端面の反射を利用して、半導体レーザを波長変換素子に結合する部分にバンドパスフィルターを挿入するものがあり、小型化を実現している。しかしながら、この方法では、波長変換される基本波が20%以上低下し、さらに高調波の出力が40%以上低下するため、高出力化に課題があった。

そこで、本発明のコヒーレント光源は、光源と、光源から出射された基本波の一部を高調波に変換する波長変換素子と、高調波に変換されない基本波の一部に対して狭帯域透過特性を有し、かつ高調波に対して透過特性を有する波長選択フィルターとを備えている。波長変換素子から出射された高調波に変換されない基本波の一部は、波長選択フィルターによって光源にフィードバックされ、高調波は、波長選択フィルターを透過して外部へ出射されることを特徴とする。これにより、高出力かつ安定で、量産性にすぐれた短波長光源が実現できる。

本発明のコヒーレント光源における波長選択フィルターは、バンドパスフィルターとダイクロイックミラーを有する。バンドパスフィルターは、高調波に変換されない基本波の一部に対して狭帯域透過特性を有し、かつ高調波に対して透過特性を有する。ダ

ダイクロイックミラーは、バンドパスフィルターを透過した高調波に変換されない基本波の一部を反射し、高調波が、バンドパスフィルターを透過した後、ダイクロイックミラーを透過して外部へ出射されることを特徴とする。これにより、光学系の簡素化が可能となり、小型化、安定化を向上させる。

本発明のコヒーレント光源における波長選択フィルターは、共焦点光学系であり、ダイクロイックミラーは共焦点光学系の焦点面に設置されていることを特徴とする。これにより、基本波は安定して半導体レーザにフィードバックする。

本発明のコヒーレント光源における光源は、シングルモードの半導体レーザであることを特徴とする。これにより、集光特性や変換効率が向上する。

また、半導体レーザのキャビティの長さが、1mm以上であることが好ましい。これにより、半導体レーザの波長を位相整合波長に合わせることが容易になる。

さらに、半導体レーザが、高周波重畳されていることが好ましい。これにより、出力が安定化する。

本発明のコヒーレント光源における光源は、ファイバーレーザであってもよい。

本発明のコヒーレント光源における波長選択フィルターは、高調波の透過率が、80%以上であることが好ましい。これにより、出力の低下を抑えることができる。

また、波長選択フィルターは、選択波長幅が、0.2nm以下であることが好ましい。これにより、変換効率の低下を抑えることができる。

本発明のコヒーレント光源における波長変換素子が、周期状の分極反転構造を備えていることを特徴とする。これにより、高効率変換が可能となる。

波長変換素子は、少なくとも一方の端面が、波長変換素子の光軸に対して 3° 以上傾いていることが好ましい。これにより、ノイズや出力の不安定性を抑えることができる。

本発明のコヒーレント光源は、光源と波長変換素子との間に集光光学系をさらに備え、集光光学系は色収差を有し、高調波と高調波に変換されない基本波の一部とを異なる集光点に集光することを特徴とする。これにより、高性能なコヒーレント光源を得ることができる。

また、波長変換素子は、光導波路を備えていることを特徴とする。これにより、高効

率変換が可能となる。

さらに、波長変換素子は、光源と直接接合されていることを特徴とする。これにより、光源の小型化が可能となる。

本発明のコヒーレント光源における波長選択フィルターは、光導波路の内部または端面に設置されることを特徴とする。これにより、小型化が可能となる。

本発明のコヒーレント光源において、波長変換素子は、光導波路を備えている。波長選択フィルターは、光導波路の内部または端面に設置されたバンドパスフィルターと、光導波路の端面に設置されたダイクロイックミラーを有している。また、バンドパスフィルターは、高調波に変換されない基本波の一部に対して狭帯域透過特性を有し、かつ高調波に対して透過特性を有している。ダイクロイックミラーは、バンドパスフィルターを透過した高調波に変換されない基本波の一部を反射し、高調波が、バンドパスフィルターを透過した後、ダイクロイックミラーを透過して外部へ出射されることを特徴とする。これにより、小型化が可能となる。

ダイクロイックミラーの厚みは、1mm以上であることが好ましい。これにより、集塵特性を抑えることができる。

本発明の光学装置は、コヒーレント光源と画像変換光学系とを有し、コヒーレント光源からの光を、光学系により2次元画像に変換することを特徴とする。

画像変換光学系は、2次元のビーム走査光学系からなることが好ましい。

画像変換光学系は、2次元スイッチからなることが好ましい。

ここで、画像変換光学系とは、2次元または1次元の光スイッチから構成されるものである。2次元の光スイッチは、透過型または反射型の液晶スイッチ、または、半導体のマイクロマシーンを利用した可動式のマイクロミラー(DMD)がある。これらは、プロジェクターの画像変換素子として、ランプ光を画像変換するのに利用されている。

以上のように、波長選択フィルターに高調波透過特性を持たせることで、光学系の簡素化が可能となり、小型化、安定化を向上させる。また、光学系自体を大幅に小型化する直接接合方式への展開をも可能になる。ひいては、高出力かつ安定で、量産性にすぐれた短波長光源が実現できる。

図面の簡単な説明

- [0004] [図1]本発明の実施形態1に係るコヒーレント光源の構成を示す図
[図2]バンドパスフィルターの透過特性図
[図3]本発明の実施形態2に係るコヒーレント光源の構成を示す図
[図4]本発明の実施形態2に係るコヒーレント光源の他の構成を示す図
[図5]本発明の実施形態2に係るコヒーレント光源の他の構成を示す図
[図6]本発明の実施形態3に係る光学装置の構成を示す図
[図7]本発明の実施形態3に係る光学装置の他の構成を示す図
[図8]従来のコヒーレント光源の構成を示す図

符号の説明

- [0005] 101、201、301、501 半導体レーザ
102、202、502 集光光学系
103、203、308、503 波長変換素子
104、204、304、504 バンドパスフィルター
105、205、306、505 ダイクロイックミラー
106、206 基本波
107、207、305、307、512 高調波
110、210、310、510 コリメートレンズ
111、211、311、511 集光レンズ
208、303 分極反転
209、302 光導波路
513、902、903 ミラー
801、901 光源
802 2次元スイッチ
803 プリズム
804 レンズ
805 RGBレーザ
807 回折素子
904 レーザ光

905 スクリーン

発明を実施するための最良の形態

[0006] 本発明は、半導体レーザと波長変換素子からなるコヒーレント光源において、光フィードバックにより半導体レーザの波長を固定する方法である。波長選択フィルターの特性を制御し、高調波の透過特性を持たせることで、従来の問題点を解決し、小型化、高出力化が可能なコヒーレント光源を実現する。

以下、本発明のコヒーレント光源について説明する。

[第1実施形態]

図1に、本発明のコヒーレント光源の構成例を示す。ここでは、波長選択フィルターが、バンドパスフィルターとダイクロイックミラーから構成される例を示す。波長選択フィルターは共焦点光学系であり、ダイクロイックミラーは共焦点光学系の焦点面に設置されている。コヒーレント光源は、半導体レーザ101と集光光学系102、波長変換素子103、コリメートレンズ110、バンドパスフィルター104、集光レンズ111、ダイクロイックミラー105からなる。

バンドパスフィルター104は、誘電体多層膜からなり、半導体レーザ101の基本波に対しては特定波長のみ透過する。透過特性は、誘電体多層膜の膜設計により容易に実現可能である。詳細は、後述する。ダイクロイックミラー105は、基本波を反射、高調波を95%以上透過するように設計されている。

次に、本発明のコヒーレント光源とその原理について説明する。半導体レーザ101から出射した基本波は、集光光学系102により集光される。波長変換素子103に集光された基本波の一部は、波長変換素子103により高調波に変換される。一例として、半導体レーザ101として波長980nm、出力500mWの光源を用いた。ここでは、波長変換素子103は、周期状の分極反転構造を用いたMgドープの LiNbO_3 である。この波長変換素子103では、分極反転周期 $5.4\mu\text{m}$ 、変換効率は5%程度で、基本波を波長490nmの第2高調波に変換できる。波長変換された高調波は、コリメートレンズ110で平行光にされた後、バンドパスフィルター104を透過して、集光レンズ111、バンドパスフィルター104を通過して、外部に出力される。一方、基本波は、集光レンズ111によりダイクロイックミラー105のミラー面に集光される。ダイクロイックミラー1

05で反射された基本波は、同じ経路を逆行して半導体レーザ101の活性層にフィードバックされる。光学系が共焦点光学系になっているため、基本波は安定して半導体レーザ101にフィードバックする。波長変換素子103の入射面、反射面には基本波に対する反射防止膜が形成されており、途中の光が半導体レーザ101にフィードバックして、ノイズや出力不安定性の原因にならないように設計されている。また波長変換素子103の入出射面は素子の光軸(分極反転に対し垂直な軸)に対して斜めに形成されている。これも、端面での反射光が半導体レーザ101にフィードバックしないようにするためである。バンドパスフィルター105を用いると反射ミラー面で焦点を結ぶ共焦点光学系となるため、光学系の許容度が大きく安定な系を実現できる。

本発明の光学系には下記の利点がある。

第1は、部品点数が少なくなる点である。透過型のバンドパスフィルターを用いることで、ダイクロイックミラーを基本波反射ミラーおよび波長分離ミラーとして利用できるため、部品点数が削減できる。これによって、コリメート系からバンドパスミラーを削減でき、光学系の体積を大幅に低減できる。その結果、コヒーレント光源の簡素化、小型化が可能となり、光学系の安定度を大幅に向上できるという利点も有する。

第2は、直線光学系となっている点である。入射する基本波と出射する高調波が直線光学系となっているため、光学系の設計が容易になる。さらに、部品の組立が容易になり、組立精度も緩和されるため、作製工程の簡素化、組立速度の向上により量産化に有利となる。

第3は、発散光学系となっている点である。従来の光学系と異なり、出射する高調波が発散光となっている。従来はコリメート光となっているため、利用する光学系にビーム径を合わせるレンズ系を追加する必要があった。これに対して、発散光学系のため、適当なレンズ1枚で、ビーム径の調整が容易に設計できるという利点を有する。利用する光学系の設計が容易になる。

なお、ダイクロイックミラー105のミラー面は、集光側に形成するのが好ましい。これは、光のパワー密度が高い場合、光トラッピング効果により周辺の埃が収集され、特性が劣化してしまう現象が観測されたことによる。光トラッピングは光の出射側に発生し、パワー密度に依存する。これを防止するには、出射面でのパワー密度をできるだけ

け低減するのが好ましい。このため、ミラー面を内側に設置し、出射面でのパワー密度を低減している。また、ダイクロイックミラー105の基板の厚みを厚くするのも有効である。基板厚みを1mm以上にすれば、出射端面での高調波のパワー密度が低減されているため集塵特性が低くなる。ダイクロイックミラー105の基板としては、ブロックやプリズム等も適用可能である。

なお、ミラー面を内側にすると、収差の低減にも有効である。ミラー面を出射側に設置すると、集光光がダイクロイックミラー105の基板を透過するため、収差が増大する。ダイクロイックミラー105により反射された基本波は、半導体レーザ101の活性層にフィードバックする。活性層は μm オーダーの形状であり、収差の発生はフィードバック光の光量低減につながり、出力の不安定性を増大させる。これを防止するためにも、ミラー面は集光側に設置するのが好ましい。

なお、利用する半導体レーザ101はシングルモードのものが好ましい。これは、光導波路で利用する場合、光導波路との結合効率を高めるために必要である。また、バルクで利用する場合においても、半導体レーザ101がマルチモードであると集光特性が悪くなり、変換効率が低下するためである。

なお、ここでは、バルク型の波長変換素子103を想定しているので、集光光学系としてプリズムペアを用いたビーム整形を用いている。バルク型では、楕円ビームの半導体レーザ101からの出力を円形ビームに整形することで、高効率化が図ることができる。

図2にバンドパスフィルター104の透過特性を示す。バンドパスフィルター104は、波長変換素子103の位相整合波長 λ 近傍に半値幅の狭いシャープな透過特性をもつ。バンドパスフィルター104の透過波長の半値幅 $\Delta\lambda_1$ は、0.6nm以下が好ましい。これは、波長変換素子103の波長許容幅に依存するが、一般的に波長変換素子の変換可能な波長の許容幅は0.1nm程度である。このため、バンドパスフィルターの波長が1nm以上になると、波長変換素子の許容度を大幅に超え、変換効率が低減する原因となる。これを防止するために、バンドパスフィルター104の基本波透過波長の幅は0.6nm以下が好ましい。さらに、0.2nm以下が好ましい。0.2nm以下にすることで安定な出力特性が得られる。

一方、高調波(ここでは $\lambda/2$ の波長)に対する特性としては、高い透過率が要求される。透過率が低い分、出力が低下するため、最低でも80%以上の透過率が要求される。もう一つ重要な点は、図1に示すように高調波に対しては、ブロードな透過特性が要求されることである。図1の構成に示すように、バンドパスフィルタ104は角度を変えることで基本波の透過波長を調整し、波長変換素子103の位相整合波に基本波波長を一致させる。このような角度調整範囲の全域において、高調波の透過特性は80%以上に保つよう設計する必要がある。高調波の波長近傍での透過波長の半値幅 $\Delta\lambda/2$ は10nm以上が望ましい。また、バンドパスフィルタ104の基本波の透過率は30%~80%以下が好ましい。透過率が高いとダイクロイックミラー105での集光パワー密度が高くなり、ミラー面の信頼性が劣化する。一方、透過率が低くなりすぎると半導体レーザのフィードバックが少なくなり、安定した光フィードバックが実現できなくなる。基本波はバンドパスフィルタを2回通るため、30%以下の透過率になるとフィードバック光が10%以下になり、安定して波長を固定することが難しい。

半導体レーザ101の端面反射率は1%以下が望ましい。外部からの光フィードバックが活性層内に十分フィードバックするためである。

なお、半導体レーザ101の活性層の長さは1mm以上が望ましい。つまり、半導体レーザのキャビティの長さが、1mm以上であることが好ましい。半導体レーザ101の発振波長は、半導体レーザの共振器と外部フィードバックの共振器からなる複合キャビティにより決まるため、縦モード間隔は活性層の長さに反比例する。バンドパスフィルタ104の透過波長の許容幅が0.2nm以下と狭いため、半導体レーザ101の縦モード間隔が狭すぎると、バンドパスフィルタ104の角度を変えて、波長を制御するときに、半導体レーザ101の出力変動が大きくなる。また、波長変換素子103の位相整合波長許容度が0.1nm程度と狭いため、半導体レーザ101の縦モード間隔が広いと、正確に半導体レーザ101の波長を位相整合波長に合わせることが難しいという問題が生じる。これを防止するには、半導体レーザ101の活性層の長さを1mm以上にして、縦モード間隔を狭める必要がある。

なお、半導体レーザ101には高周波を重畳するのが望ましい。これには2つの利点がある。一つ目は、半導体レーザの駆動電流に高周波を重畳すると半導体レーザの

コヒーレンスが低下し、発振波長が高速で変動するため、平均的には出力が安定する点である。特に、波長変換素子103は許容度が狭いため、半導体レーザ101の発振波長がバンドパスフィルタ104の透過波長域0.2nmにおいて揺らいでも、出力変動が発生する。高周波を重ねることで、波長変動が平均化され出力安定になる。二つ目は、波長変換素子103の変換効率が向上する点である。高周波を重ねると、半導体レーザ101の出力は高出力のパルス列となる。波長変換素子103は非線形光学効果を利用しているため、変換効率は光のピークパワーに依存する。従って、平均パワーは同じ場合でも、ピークパワーの高いパルス列にすることで変換効率を大幅に向上できる。

なお、基本波の光源として半導体レーザについて述べたが、光源はこれに限定されるものではない。例えば、固体レーザやファイバーレーザ等の利用も可能である。Ybドープのファイバーレーザは、広い吸収波長域をもつ高効率のレーザ励起が可能であるが、ファイバーの場合発振波長が非常に広いため、波長変換素子での変換効率が低下する。これを防止するには、光フィードバックによる波長の狭帯域化が重要となる。その方式に対しても、本発明は有効である。

[第2実施形態]

ここでは、光導波路を用いた波長変換素子に、本発明の構成を適用した例について述べる。図3において、波長変換素子203は、周期的な分極反転208と光導波路209を備える。半導体レーザ201から出た基本波は、光導波路209に集光される。光導波路209を伝搬する基本波は、周期的な分極反転208により波長変換され、高調波になる。光導波路209を用いることで、変換効率は50%程度と高効率になり、波長980nmの半導体レーザ201(出力500mW)から、200mWの高調波(波長490nm)を実現している。本構成により、光学系が簡素化、安定化し、小型かつ安定なコヒーレント光源を実現できた。

さらに、導波路型では、図4に示すような直接接合型の構成が実現できる。半導体レーザ301と波長変換素子308を直接接合することで、光源の小型化が可能となる。ここで、半導体レーザ301は光導波路302と直接接合している。ビーム径をあわせることで、結合効率は90%程度となり、高効率結合が可能となる。また、サブマウント上

に半導体レーザ301と波長変換素子308を接着することで、素子間の距離が非常に近くなり、安定した結合を実現できた。さらに、波長変換素子308から出射される高調波は、コリメートレンズ310、バンドパスフィルター304、集光レンズ311を通して、ダイクロイックミラー305に集光される。ダイクロイックミラー305は高調波を透過するため、高調波はそのまま外部に出力される。

一方、基本波は、バンドパスフィルター304で波長選択された後、ダイクロイックミラー305で反射され、同じ経路を逆方向に進んで、半導体レーザ301にフィードバックする。波長変換素子308の入射側端面は光導波路302に垂直とし、半導体レーザ301との結合効率向上を図っている。一方、出射側は、斜めに研磨されており、研磨角度は 3° 以上が好ましい。これにより、端面での反射光を0.1%以下に低減し、半導体レーザ301への端面からの戻り光によるノイズ発生、出力不安定化をなくすることができる。

また、コリメートレンズ310、集光レンズ311は、基本波と高調波に対して色収差を発生する構造にしている。そのため、ダイクロイックミラー306での両光の焦点が焦点深度程度ずれている。さらに、基本波の焦点にダイクロイックミラー306を設置し、基本波が半導体レーザ301の活性層にフィードバックするように調整する。これは、基本波、高調波がダイクロイックミラー306で同一点に集光されると、共焦点光学系のため、高調波が半導体レーザ301にフィードバックしてしまい、半導体レーザ301のノイズ発生の原因となるからである。この実施例では、レンズの色収差を利用してノイズ発生を防止することが可能となる。同時にダイクロイックミラー306表面での光のパワー密度を下げて、ダイクロイックミラー306の表面ダメージによる信頼性の劣化を防止できる。なお、色収差による基本波と高調波の焦点位置の関係については、基本波の集光点に対して、高調波の集光点が手前に来ることが好ましい。これは、ダイクロイックミラー306の手前で高調波が焦点を結ぶことで、ダイクロイックミラーの出射面での高調波のパワー密度が低下するため、光トラッピング効果による端面付着を低減できるからである。

さらに、小型集積化する構成について図5を用いて説明する。図5(a)においては、バンドパスフィルター304を、導波路途中に形成した溝内にはめ込んでいる。導波路

の出射端面には、ダイクロイックミラー306を設置し、基本波を反射し、高調波を透過する。ダイクロイックミラー306で反射された基本波は、導波路を通して半導体レーザー301にフィードバックし、発振波長をフィルターの透過波長に固定する。さらに、図5(b)では導波路端面に、バンドパスフィルター304とダイクロイックミラー306を堆積している。導波路素子に波長選択フィルターを集積化することで、光源の超小型化が可能になる。なお、バンドパスフィルター304を集積化した場合は、フィルターの角度調整による半導体レーザーの発振波長の調整は難しい。この場合は、波長変換素子308の温度を変えることで位相整合波長を制御し、フィルターの透過波長に位相整合波長を合わせることが可能となる。

波長変換素子の非線形光学材料としては、Mgドープの LiNbO_3 、 LiTaO_3 、または KTiOPO_4 等がある。またストイキオメトリック構造の LiNbO_3 、 LiTaO_3 、またはMgドープのストイキオメトリック構造の LiNbO_3 、 LiTaO_3 が高効率変換に有望である。分極反転構造を変えることで任意の波長変換が可能であり、高効率変換が行える。光導波路構造にすることで、さらに高い変換効率が実現できる。

光源の半導体レーザーとしては、980nmの半導体レーザー以外にも、波長1060nmの半導体レーザーを用いれば、530nmの緑色光の発生が、また900nm近傍の半導体レーザーを用いれば、青色光の発生が可能となる。さらに、780nm、680nmの近赤外、赤色の半導体レーザーを用いれば、紫外光発生が可能となる。これら半導体レーザーは、高出力化が進んでおり、信頼性も確保されていることより波長変換素子と組み合わせることで各種レーザー光源が実現できる。

また、本発明の構成において、半導体レーザーの発振波長と波長変換素子の位相整合波長を一致させるために波長制御を行う必要がある。バンドパスフィルターの場合、反射面がダイクロイックミラーであるため、バンドパスフィルターを回転させても、反射波長は半導体レーザーの活性層に帰還する。このため、バンドパスフィルターの角度で透過波長を可変することができる。バンドパスフィルターの角度を調整することで透過波長が変化するので、角度調整により半導体レーザーの発振波長を位相整合波長にあわせるように制御することができる。

なお、本実施形態では、波長変換素子が光導波路を備えている場合について説明

したが、バルク型の波長変換素子であっても、本構成を適用可能である。

[第3実施形態]

ここでは、本発明のコヒーレント光源を用いた光学装置として、レーザディスプレイについて説明する。

レーザディスプレイでは、RGBレーザを用いれば色再現性の高いディスプレイが実現できる。レーザ光源として、赤色は、高出力の半導体レーザが開発されている。しかし、青色は高出力化が実現しておらず、緑色は半導体レーザの形成そのものが難しい。そこで、波長変換を利用した青および緑色光源が必要となる。本発明のコヒーレント光源において、ワイドストライプの半導体レーザが利用できるため、波長変換素子と組み合わせて高出力の青、緑色光が実現できる。青色出力としては、880nmの半導体レーザを波長変換して440nmの青色光を、緑色出力としては、1060nmの半導体レーザを波長変換して530nmの緑色光を実現できる。

これらの光源を一体化し、803のプリズムを介して802の2次元スイッチに投射、スイッチングされた光をレンズ804でスクリーンに投射することで2次元画像が投射できる(図6)。2次元スイッチ802としては、マイクロマシーンを利用したMEMSや、液晶スイッチ等が利用できる。出力は、スクリーンサイズによるものの、数10mWから数100mW程度が必要である。以上のように、本発明のコヒーレント光源により小型の短波長光源が実現でき、レーザディスプレイの小型化、高効率化が可能となる。

レーザディスプレイ装置として、図7に示す方式も有効である。レーザ光は、ミラー902、903で走査することによりスクリーン上に2次元的な画像を描く。この場合、レーザ光源に高速なスイッチ機能が必要であり、半導体レーザの出力を変調することで、高速出力変調が可能となる。本発明のコヒーレント光源は、高出力化が可能であり、レーザディスプレイ用途に有望である。また光フィードバックによりワイドストライプレーザでありながら、縦モード、横モードともにシングルモードに固定されているため、レーザの出力変調を高速で行える。これによって、走査型のレーザディスプレイが実現できる。

以上、導波型光デバイスにSHG素子を用いた例を挙げて本発明の実施例を説明した。SHG素子を用いた光源では、半導体レーザとして高出力の半導体レーザを用

いることが多いため、高出力レーザとしてワイドストライプの半導体レーザを利用できれば、小型高出力の光源が実現できる。そのため、本発明の構造を用いることで、高出力化、安定化が実現できる。

なお、導波型光デバイスは、特にSHG素子に限らない。例えば、高速変調素子や位相シフタ、周波数シフタ、偏光制御素子など、導波型光デバイスとして様々な機能、構成のものが考えられる。こうした導波型光デバイスとコヒーレント光源を用いた光学系全てに、本発明の導波型光デバイスを応用可能である。

また、光学装置として、レーザディスプレイについて説明したが、その他、光ディスク装置や計測装置に対しても本発明は有効である。特に、光ディスク装置は、書き込み速度の高速化によりレーザ出力の向上が求められているため、本発明が有効である。本発明の光源は高出力かつ高いコヒーレンスを有するため、小型化が可能であり、光ディスク等への応用にも有効である。

産業上の利用可能性

[0007] 以上述べたように、本発明のコヒーレント光源は、半導体レーザを波長変換する際に有効な構成である。半導体レーザの波長変換には、光源の出力安定化のために、光フィードバックによる半導体レーザの波長制御が必要である。光フィードバックを実現するためには、狭帯域のバンドパスフィルターを用い、バンドパスフィルターの透過波長を選択的にすることにより半導体レーザの発振波長を制御する。この時、バンドパスフィルターに高調波の透過特性を与えると、光学部品点数を削減すると共に、光学系の小型化、安定化を実現できる。これによって、高出力かつ安定で、量産性にすぐれた短波長光源が実現できる。

さらに、このコヒーレント光源を用いれば、高出力の小型RGB光源が実現できるため、レーザディスプレイをはじめ、光ディスク装置等各種の光学装置への応用が可能となる。

請求の範囲

- [1] 光源と、
前記光源から出射された基本波の一部を高調波に変換する波長変換素子と、
前記高調波に変換されない前記基本波の一部に対して狭帯域透過特性を有し、
かつ前記高調波に対して透過特性を有する波長選択フィルターとを備え、
前記波長変換素子から出射された前記高調波に変換されない前記基本波の一部は、前記波長選択フィルターによって前記光源にフィードバックされ、
前記高調波は、前記波長選択フィルターを透過して外部へ出射されることを特徴とする、コヒーレント光源。
- [2] 前記波長選択フィルターは、バンドパスフィルターとダイクロイックミラーを有し、
前記バンドパスフィルターが、前記高調波に変換されない前記基本波の一部に対して狭帯域透過特性を有し、かつ前記高調波に対して透過特性を有し、
前記ダイクロイックミラーが、前記バンドパスフィルターを透過した前記高調波に変換されない前記基本波の一部を反射し、
前記高調波が、前記バンドパスフィルターを透過した後、前記ダイクロイックミラーを透過して外部へ出射されることを特徴とする、請求項1記載のコヒーレント光源。
- [3] 前記波長選択フィルターが、共焦点光学系であり、
前記ダイクロイックミラーが、前記共焦点光学系の焦点面に設置されていることを特徴とする、請求項2記載のコヒーレント光源。
- [4] 前記光源が、シングルモードの半導体レーザであることを特徴とする、請求項1から3のいずれか記載のコヒーレント光源。
- [5] 前記半導体レーザのキャビティの長さが、1mm以上であることを特徴とする、請求項4記載のコヒーレント光源。
- [6] 前記半導体レーザが、高周波重畳されていることを特徴とする、請求項4または5記載のコヒーレント光源。
- [7] 前記光源が、ファイバーレーザであることを特徴とする、請求項1から3のいずれか記載のコヒーレント光源。
- [8] 前記波長選択フィルターの前記高調波の透過率が、80%以上であることを特徴と

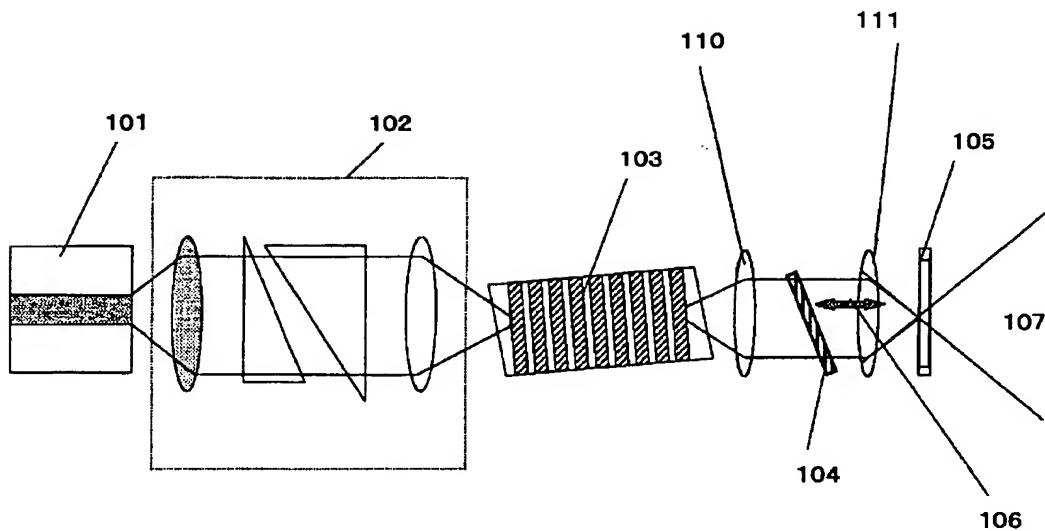
する、請求項1から7のいずれか記載のコヒーレント光源。

- [9] 前記波長選択フィルターの選択波長幅が、0.2nm以下であることを特徴とする、請求項1から8のいずれか記載のコヒーレント光源。
- [10] 前記波長変換素子が、周期状の分極反転構造を備えていることを特徴とする、請求項1から9のいずれか記載のコヒーレント光源。
- [11] 前記波長変換素子の少なくとも一方の端面が、前記波長変換素子の光軸に対して 3° 以上傾いていることを特徴とする、請求項1から10のいずれか記載のコヒーレント光源。
- [12] 前記光源と前記波長変換素子との間に集光光学系をさらに備え、
前記集光光学系は、色収差を有し、前記高調波と前記高調波に変換されない基本波の一部とを異なる集光点に集光することを特徴とする、請求項1から11のいずれか記載のコヒーレント光源。
- [13] 前記波長変換素子が、光導波路を備えていることを特徴とする、請求項1から12のいずれか記載のコヒーレント光源。
- [14] 前記波長変換素子が、前記光源と直接接合されていることを特徴とする、請求項13記載のコヒーレント光源。
- [15] 前記波長選択フィルターが、前記光導波路の内部または端面に設置されることを特徴とする、請求項13または14記載のコヒーレント光源。
- [16] 前記波長変換素子が、光導波路を備えており、
前記波長選択フィルターは、前記光導波路の内部または端面に設置されたバンドパスフィルターと、前記光導波路の端面に設置されたダイクロイックミラーを有し、
前記バンドパスフィルターが、前記高調波に変換されない前記基本波の一部に対して狭帯域透過特性を有し、かつ前記高調波に対して透過特性を有し、
前記ダイクロイックミラーが、前記バンドパスフィルターを透過した前記高調波に変換されない前記基本波の一部を反射し、
前記高調波が、前記バンドパスフィルターを透過した後、前記ダイクロイックミラーを透過して外部へ出射されることを特徴とする、請求項1記載のコヒーレント光源。
- [17] 前記ダイクロイックミラーの厚みが、1mm以上であることを特徴とする、請求項16記

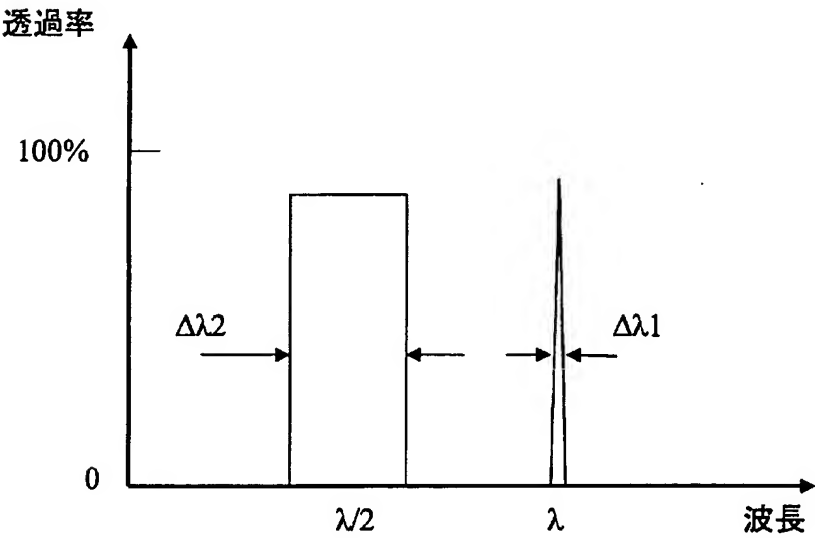
載のコヒーレント光源。

- [18] 請求項1から17記載のいずれかのコヒーレント光源と画像変換光学系とを有し、前記コヒーレント光源からの光を、光学系により2次元画像に変換することを特徴とする、光学装置。
- [19] 前記画像変換光学系が、2次元のビーム走査光学系からなることを特徴とする、請求項18記載の光学装置。
- [20] 前記画像変換光学系が、2次元スイッチからなることを特徴とする、請求項18記載の光学装置。

[図1]

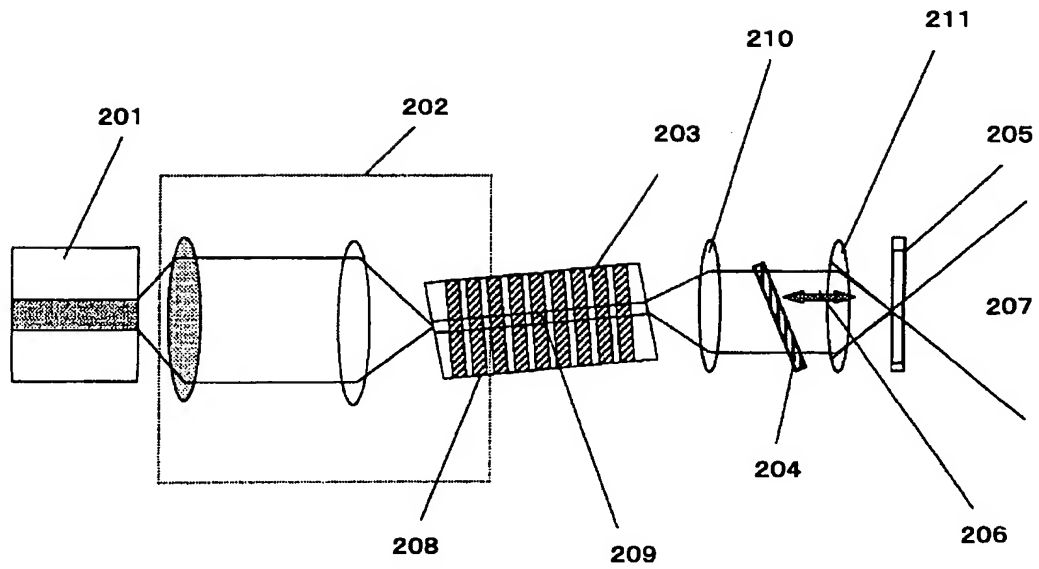


[図2]

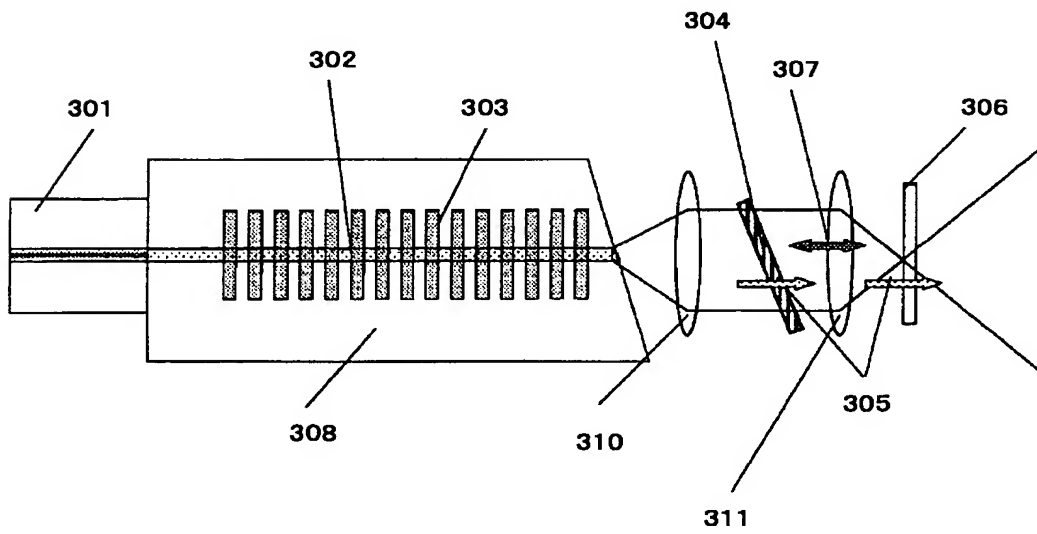


バンドパスフィルターの透過特性

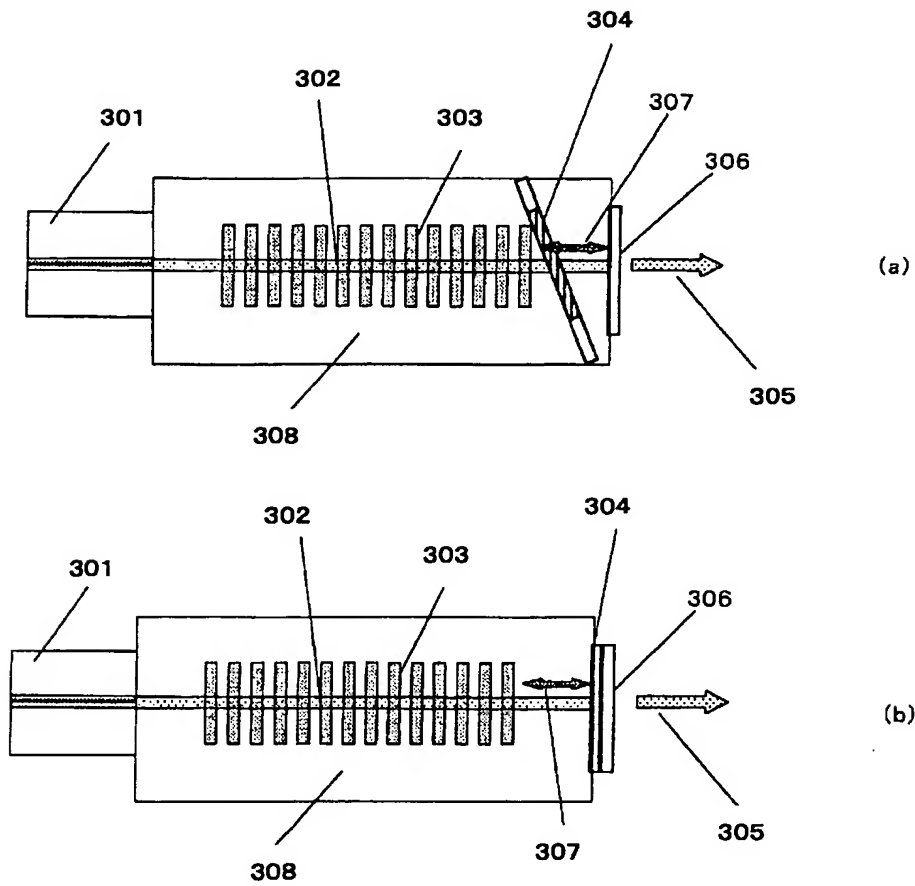
[図3]



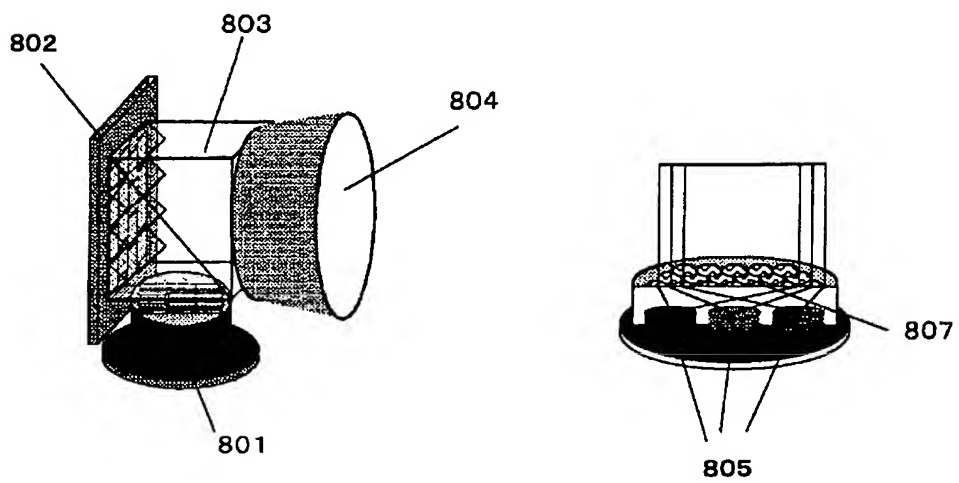
[図4]



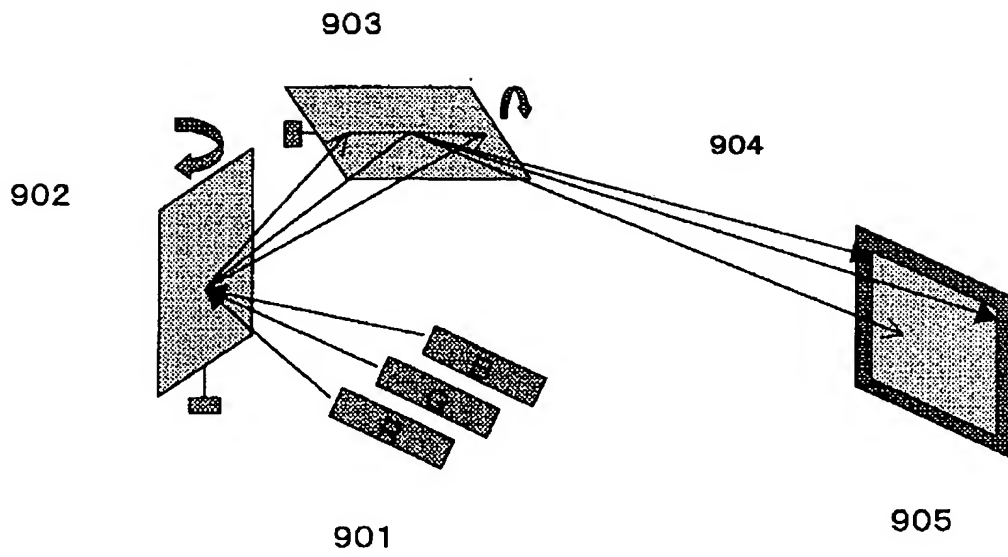
[図5]



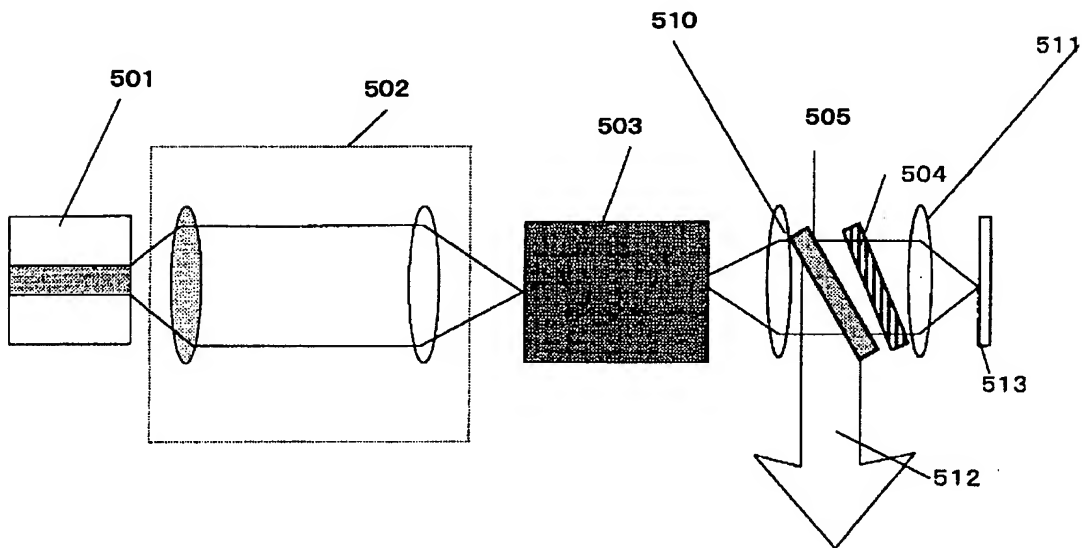
[図6]



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/004525

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl.⁷ G02F1/37, H01S3/109

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl.⁷ G02F1/37, H01S3/109

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2001-308454 A (Fuji Photo Film Co., Ltd.), 02 November, 2001 (02.11.01), Fig. 23 & US 2002/9102 A1	1-20
Y	JP 2003-163400 A (Shimadzu Corp.), 06 June, 2003 (06.06.03), Par. Nos. [0002] to [0003]; Fig. 5 (Family: none)	1-20
Y	JP 2003-140213 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 14 May, 2003 (14.05.03), Par. Nos. [0188] to [0192] & EP 703649 A2 & US 5936985 A & US 2002/126369 A1	5

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
09 June, 2005 (09.06.05)

Date of mailing of the international search report
28 June, 2005 (28.06.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/004525

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2004-102226 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 02 April, 2004 (02.04.04), Par. No. [0176] & WO 96/38757 A1 & US 2002/1322 A1	6
Y	JP 2003-43536 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 13 February, 2003 (13.02.03), Par. No. [0056] & US 2002/172488 A1	12
Y	JP 2001-318396 A (Fuji Photo Film Co., Ltd.), 16 November, 2001 (16.11.01), Par. No. [0030] & EP 1096307 A2	17
Y	JP 2004-35987 A (Fuji Photo Film Co., Ltd.), 05 February, 2004 (05.02.04), Par. No. [0037] & US 2003/226834 A1	17
Y	JP 4-45478 A (Ibiden Co., Ltd.), 14 February, 1992 (14.02.92), Fig. 2; page 3, lower left column, lines 6 to 9 (Family: none)	18,19
Y	JP 2001-264662 A (Fuji Photo Film Co., Ltd.), 26 September, 2001 (26.09.01), Par. No. [0033] & US 2001/22566 A1	20

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP2005/004525

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ G02F1/37, H01S3/109

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ G02F1/37, H01S3/109

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2001-308454 A (富士写真フイルム株式会社) 2001.11.02, 図2 3 & US 2002/9102 A1	1-20
Y	JP 2003-163400 A (株式会社島津製作所) 2003.06.06, 【0002】 - 【0003】、図5 (ファミリーなし)	1-20
Y	JP 2003-140213 A (松下電器産業株式会社) 2003.05.14, 【018 8】 - 【0192】 & EP 703649 A2 & US 5936985 A & US 2002/126369 A1	5

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

09.06.2005

国際調査報告の発送日

28.6.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

東 治 企

電話番号 03-3581-1101 内線 3294

2X

3314

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2004-102226 A (松下電器産業株式会社) 2004. 04. 02, 【0176】 & WO 96/38757 A1 & US 2002/1322 A1	6
Y	JP 2003-43536 A (松下電器産業株式会社) 2003. 02. 13, 【0056】 & US 2002/172488 A1	12
Y	JP 2001-318396 A (富士写真フイルム) 2001. 11. 16, 【0030】 & EP 1096307 A2	17
Y	JP 2004-35987 A (富士写真フイルム) 2004. 02. 05, 【0037】 & US 2003/226834 A1	17
Y	JP 4-45478 A (イビデン株式会社) 1992. 02. 14, 第2図、第3頁左下欄6行ー9行 (ファミリーなし)	18, 19
Y	JP 2001-264662 A (富士写真フイルム株式会社) 2001. 09. 26, 【0033】 & US 2001/22566 A1	20

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.